

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2005-302826

(43)Date of publication of application : 27.10.2005

(51)Int.Cl.

H01L 21/027

G02B 19/00

G03F 7/20

(21)Application number : 2004-113151

(71)Applicant : NIKON CORP

(22)Date of filing : 07.04.2004

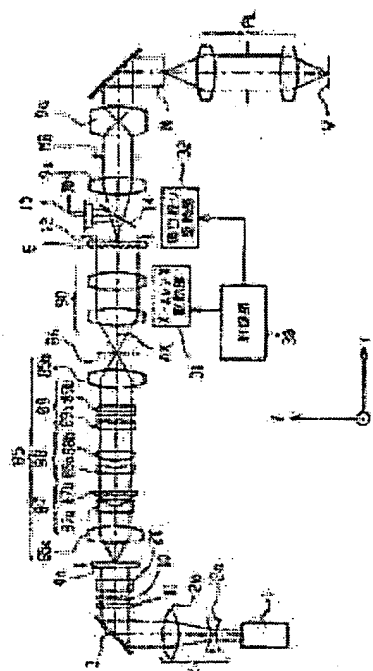
(72)Inventor : TANAKA HIROHISA

## (54) LIGHTING OPTICAL DEVICE, EXPOSURE SYSTEM AND METHOD

## (57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a lighting optical device which can prevent a lighting pupil or an optical element arranged at its conjugated position from being damaged even if the light energy of an illuminating light emitted from a light source becomes high.

SOLUTION: The lighting optical device is provided with a surface light source size variable means 90 that is arranged in an optical path between a light source 1 and an optical integrator 8, and changes the size of a surface light source to be formed at a lighting pupil position by the optical integrator; and an aperture diaphragm 12 that is freely arranged on the incident surface or the outgoing surface of the integrator, or in their vicinity, and has an aperture to limit the surface light source at a predetermined size. It is also provided with a switching means 30 that stops changing operation for the surface light source size by the surface light source size variable means when the size of the surface light source to be changed by the surface light source size variable means becomes smaller than the predetermined size, and switches to surface light source size setting operation using the aperture diaphragm.



(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2005-302826

(P2005-302826A)

(43) 公開日 平成17年10月27日(2005.10.27)

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>

H01L 21/027

G02B 19/00

G03F 7/20

F1

H01L 21/30

G02B 19/00

G03F 7/20

515D

521

テーマコード(参考)

2H052

5F046

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 19 頁)

(21) 出願番号

特願2004-113151 (P2004-113151)

(22) 出願日

平成16年4月7日(2004.4.7)

(71) 出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(74) 代理人 100112427

弁理士 藤本 芳洋

(72) 発明者 田中 裕久

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株

式会社ニコン内

Fターム(参考) 2H052 BA02 BA03 BA07 BA12

5F046 BA04 CA03 CB08 CB13 CB22

CB23 DA01 DB01 DC02

(54) 【発明の名称】 照明光学装置、露光装置及び露光方法

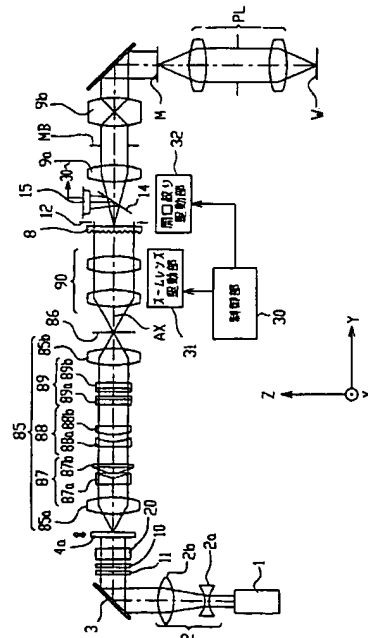
(57) 【要約】

(修正有)

【課題】 光源部から射出される照明光の光エネルギーが高くなった場合においても照明瞳またはその共役な位置に配置される光学素子の損傷を防止することができる照明光学装置を提供する。

【解決手段】 光源部1とオプティカルインテグレータ8との間の光路中に配置され、オプティカルインテグレータによって照明瞳位置に形成される面光源の大きさを変更する面光源サイズ可変手段90と、オプティカルインテグレータの入射面または射出面若しくはその近傍に配置可能に設けられて、面光源の大きさを所定の大きさに制限するための開口を有する開口絞り12を備え、面光源サイズ可変手段により変更される面光源の大きさが所定の大きさよりも小さくなった場合に、面光源サイズ可変手段による面光源の大きさの変更動作を停止し、開口絞りによる面光源の大きさ設定動作に切替えを行う切替え手段30とを備える。

【選択図】 図1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

光源部からの照明光で被照射面を照明する照明光学装置において、  
前記光源部と前記被照射面との間の光路中に配置されるオプティカルインテグレータと

、  
前記光源部と前記オプティカルインテグレータとの間の光路中に配置され、前記照明光の光エネルギーをほぼ一定に保ちながら、前記オプティカルインテグレータによって照明瞳位置に形成される面光源の大きさを変更する面光源サイズ可変手段と、

前記オプティカルインテグレータの入射面若しくはその近傍、または前記オプティカルインテグレータの射出面若しくはその近傍に配置可能に設けられて、前記面光源の大きさを所定の大きさに制限するための開口を有する開口絞りと、

前記面光源サイズ可変手段により変更される前記面光源の大きさが所定の大きさよりも小さくなった場合に、前記面光源サイズ可変手段による前記面光源の大きさの変更動作を停止し、前記開口絞りによる前記面光源の大きさ設定動作に切替えを行う切替え手段と、  
を備えることを特徴とする照明光学装置。

## 【請求項 2】

前記オプティカルインテグレータは石英で構成され、

前記切替え手段は、前記面光源サイズ可変手段による前記面光源の大きさの変更により、前記照明光学装置の前記照明瞳またはその近傍での前記照明光の光エネルギーが  $5 \text{ mJ} / \text{cm}^2 \cdot \text{pulse}$  以上となったときに、前記面光源サイズ可変手段による前記面光源の大きさの変更動作を停止し、前記開口絞りによる前記面光源の大きさ設定動作に切替えを行うことを特徴とする請求項 1 記載の照明光学装置。

## 【請求項 3】

光源部からの照明光で被照射面を照明する照明光学装置において、

前記光源部と前記被照射面との間に配置され、前記照明光の照度の減衰率を調節する照度減衰率調整手段と、

前記光源部と前記被照射面との間の光路中に配置されるオプティカルインテグレータと

、  
前記光源部と前記オプティカルインテグレータとの間の光路中に配置され、前記照明光の光エネルギーをほぼ一定に保ちながら、前記オプティカルインテグレータによって照明瞳位置に形成される面光源の大きさを変更する面光源サイズ可変手段と、

を備え、

前記照度減衰率調整手段は、前記面光源サイズ可変手段により変更される前記面光源の大きさが所定の大きさよりも小さくなった場合に、前記照明光の照度の減衰率を増大させることを特徴とする照明光学装置。

## 【請求項 4】

前記照度減衰率調整手段は、前記光源部と前記オプティカルインテグレータとの間の光路中に挿入退避可能な ND フィルタを備えていることを特徴とする請求項 3 記載の照明光学装置。

## 【請求項 5】

前記 ND フィルタは、異なる減衰率を有する少なくとも 2 つの ND フィルタを備えていることを特徴とする請求項 4 記載の照明光学装置。

## 【請求項 6】

前記オプティカルインテグレータは石英で構成され、

前記照度減衰率調整手段は、前記面光源サイズ可変手段による前記面光源の大きさの変更により、前記照明光学装置の前記照明瞳またはその近傍での前記照明光の光エネルギーが  $5 \text{ mJ} / \text{cm}^2 \cdot \text{pulse}$  以上となったときに、前記照明光の照度の減衰率を増大させることを特徴とする請求項 3 乃至請求項 5 のいずれか一項に記載の照明光学装置。

## 【請求項 7】

感光性基板上にマスクのパターンを転写する露光装置において、

前記マスクを照明するための請求項1乃至請求項6の何れか一項に記載の照明光学装置と、

前記マスクのパターンの像を前記感光性基板上に形成するための投影光学系と、  
を備えることを特徴とする露光装置。

【請求項8】

感光性基板上に所定のパターンを転写する露光方法において、

請求項1乃至請求項6の何れか一項に記載の照明光学装置を用いて前記所定のパターンが形成されるマスクを照明する照明工程と、

前記感光性基板上に前記所定のパターンを転写する転写工程と、  
を含むことを特徴とする露光方法。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

この発明は、半導体素子、液晶表示素子、薄膜磁気ヘッド等のマイクロデバイスをリソグラフィ工程で製造するための露光装置に用いられる照明光学装置、該照明光学装置を備えた露光装置及び該照明光学装置を用いた露光方法に関するものである。

【背景技術】

【0002】

従来の露光装置においては、光源から射出された光束がオプティカルインテグレータとしてのフライアイレンズ（またはマイクロレンズアレイ）に入射し、その後側焦点面に多数の光源からなる二次光源を形成する。二次光源からの光束は、必要に応じてフライアイレンズの後側焦点面の近傍に配置された開口絞りを介して制限された後、コンデンサレンズに入射する。

20

【0003】

コンデンサレンズにより集光された光束は、所定のパターンが形成されたマスクを重畳的に照明する。マスクのパターンを透過した光は、投影光学系を介してウエハ上に結像する。こうして、ウエハ上には、マスクパターンが投影露光（転写）される。なお、マスクに形成されたパターンは高集積化されており、この微細なパターンをウエハ上に正確に転写するためにはウエハ上において均一な照度分布を得ることが不可欠である。

【0004】

また、近年においては、高集積化されたパターンをウエハ上に正確に転写するために、フライアイレンズを介して形成される二次光源の大きさを変化させることにより照明の $\sigma$ 値を変化させる技術が注目されている。ここで、 $\sigma$ 値は、投影光学系の瞳の大きさに対する照明光学装置の照明瞳の大きさにより規定される。

30

【0005】

また、マスクのパターンが微細になり、露光装置の解像限界付近にて露光が行われるようになると、照明光学装置の開口絞りから射出した光のうち解像に寄与するのは、開口絞りの周辺部から射出した光のみとなり、開口部の中心部から射出した光は像のコントラストを下げるだけの働きしか持たなくなる。従って、近年、照明光学装置の照明瞳の周辺部に光強度分布を有する輪帯状や多極状（例えば、4極状）の変形照明を行うことにより、投影光学系の焦点深度や解像力を向上させる技術が注目されている（例えば、特許文献1及び特許文献2参照）。

40

【0006】

【特許文献1】特開昭61-91662号公報

【特許文献2】特開平4-101148号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

ところで、上述の照明光学装置のように照明瞳に形成される面光源の大きさを小さくした場合、照明瞳に形成される面光源に照明光の光エネルギーが集中するようになる。同様に

50

、照明瞳の周辺部に光強度分布を有する輪帯状や多極状の変形照明を行うことにより、照明光の通過位置に光エネルギーが集中するようになる。

【0008】

照明光学装置を構成する光学素子の多くは光学素子として容易に加工することができる石英により形成されているため、石英により形成された光学素子が照明瞳と該照明瞳と共役な位置等、光源部から射出される照明光の光エネルギーが集中する位置に配置された場合には、照明光が通過する光学素子の部分に損傷が生じる。従って、石英により形成された光学素子は、その光学素子が有する光学性能を維持することができなくなる。

【0009】

この発明の課題は、光源部から射出される照明光の光エネルギーが高くなった場合においても照明瞳またはその共役な位置に配置される光学素子の損傷を防止することができる照明光学装置、該照明光学装置を備えた露光装置及び該照明光学装置を用いた露光方法を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0010】

請求項1記載の照明光学装置は、光源部からの照明光で被照射面を照明する照明光学装置において、前記光源部と前記被照射面との間の光路中に配置されるオプティカルインテグレータと、前記光源部と前記オプティカルインテグレータとの間の光路中に配置され、前記照明光の光エネルギーをほぼ一定に保ちながら、前記オプティカルインテグレータによって照明瞳位置に形成される面光源の大きさを変更する面光源サイズ可変手段と、前記オプティカルインテグレータの入射面若しくはその近傍、または前記オプティカルインテグレータの射出面若しくはその近傍に配置可能に設けられて、前記面光源の大きさを所定の大きさに制限するための開口を有する開口絞りと、前記面光源サイズ可変手段により変更される前記面光源の大きさが所定の大きさよりも小さくなった場合に、前記面光源サイズ可変手段による前記面光源の大きさの変更動作を停止し、前記開口絞りによる前記面光源の大きさ設定動作に切替えを行う切替え手段とを備えることを特徴とする。

【0011】

この請求項1記載の照明光学装置によれば、面光源サイズ可変手段により変更される照明瞳位置に形成される面光源の大きさが所定の大きさよりも小さくなった場合に、面光源サイズ可変手段による面光源の大きさの変更動作を停止し、開口絞りによる面光源の大きさ設定動作に切替えを行う切替え手段を備えている。即ち、照明瞳に形成される面光源における照明光の光エネルギーが所定の値を超える前に照明瞳に形成される面光源における照明光の光エネルギーを適切な値に変更することができる。従って、照明瞳や該照明瞳と共役な位置またはその近傍に配置される光学素子が石英により構成されている場合においても、照明瞳に形成される面光源における照明光の光エネルギーが高くなることにより光学素子に損傷が発生するのを防止することができ、光学素子の高寿命化を実現することができる。また、この照明光学装置を露光装置に搭載した場合においても、照明光学装置を構成する光学素子を頻繁に交換する必要がないため、露光装置の性能を維持することができ、露光装置のスループットを高く維持することができる。

【0012】

また、請求項2記載の照明光学装置は、前記オプティカルインテグレータが石英で構成され、前記切替え手段が前記面光源サイズ可変手段による前記面光源の大きさの変更により、前記照明光学装置の前記照明瞳またはその近傍での前記照明光の光エネルギーが  $5 \text{ mJ} / \text{cm}^2 \cdot \text{pulse}$  以上となったときに、前記面光源サイズ可変手段による前記面光源の大きさの変更動作を停止し、前記開口絞りによる前記面光源の大きさ設定動作に切替えを行うことを特徴とする。

【0013】

この請求項2記載の照明光学装置によれば、面光源サイズ可変手段による照明瞳に形成される面光源の大きさの変更により、照明瞳またはその近傍での照明光の光エネルギーが  $5 \text{ mJ} / \text{cm}^2 \cdot \text{pulse}$  以上となったときに、面光源サイズ可変手段による面光源の大

10

20

30

40

50

きさの変更動作を停止し、開口絞りによる面光源の大きさ設定動作に切替えを行う。即ち、照明瞳に形成される面光源における照明光の光エネルギーが  $5 \text{ mJ} / \text{cm}^2 \cdot \text{pulse}$  以上となることを防止することができ、照明瞳またはその近傍での照明光の光エネルギーを適切な値に維持することができる。従って、照明瞳や該照明瞳と共役な位置またはその近傍に配置される光学素子が石英により構成されている場合においても、照明瞳に形成される面光源における照明光の光エネルギーが高くなることにより光学素子に損傷が発生するのを防止することができ、光学素子の高寿命化を実現することができる。また、この照明光学装置を露光装置に搭載した場合においても、照明光学装置を構成する光学素子を頻繁に交換する必要がないため、露光装置の性能を維持することができ、露光装置のスループットを高く維持することができる。

10

## 【0014】

また、請求項3記載の照明光学装置は、光源部からの照明光で被照射面を照明する照明光学装置において、前記光源部と前記被照射面との間に配置され、前記照明光の照度の減衰率を調節する照度減衰率調整手段と、前記光源部と前記被照射面との間の光路中に配置されるオプティカルインテグレータと、前記光源部と前記オプティカルインテグレータとの間の光路中に配置され、前記照明光の光エネルギーをほぼ一定に保ちながら、前オプティカルインテグレータによって照明瞳位置に形成される面光源の大きさを変更する面光源サイズ可変手段とを備え、前記照度減衰率調整手段は、前記面光源サイズ可変手段により変更される前記面光源の大きさが所定の大きさよりも小さくなった場合に、前記照明光の照度の減衰率を増大させることを特徴とする。

20

## 【0015】

この請求項3記載の照明光学装置によれば、面光源サイズ可変手段により変更される照明瞳に形成される面光源の大きさが所定の大きさよりも小さくなった場合に、照度減衰率調整手段により照明光の照度の減衰率を増大させる。即ち、照明瞳に形成される面光源における照明光の光エネルギーが所定の値を超える前に照明瞳に形成される面光源における照明光の光エネルギーを適切な値に変更することができる。従って、照明瞳や該照明瞳と共役な位置またはその近傍に配置される光学素子が石英により構成されている場合においても、照明瞳に形成される面光源における照明光の光エネルギーが高くなることにより光学素子に損傷が発生するのを防止することができ、光学素子の高寿命化を実現することができる。また、この照明光学装置を露光装置に搭載した場合においても、照明光学装置を構成する光学素子を頻繁に交換する必要がないため、露光装置の性能を維持することができ、露光装置のスループットを高く維持することができる。

30

## 【0016】

また、請求項4記載の照明光学装置は、前記照度減衰率調整手段が前記光源部と前記オプティカルインテグレータとの間の光路中に挿入退避可能なNDフィルタを備えていることを特徴とする。

## 【0017】

この請求項4記載の照明光学装置によれば、照度減衰率調整手段が光源部とオプティカルインテグレータとの間の光路中に挿入退避可能なNDフィルタを備えているため、NDフィルタを光源部とオプティカルインテグレータとの間の光路中に挿入することにより照明光の照度の減衰率を容易に増大させることができる。

40

## 【0018】

また、請求項5記載の照明光学装置は、前記NDフィルタが異なる減衰率を有する少なくとも2つのNDフィルタを備えていることを特徴とする。

## 【0019】

この請求項5記載の照明光学装置によれば、NDフィルタが異なる減衰率を有する少なくとも2つのNDフィルタを備えているため、異なる減衰率を有するNDフィルタに切替えることにより照明光の照度の減衰率を適切な値に増大させることができる。

## 【0020】

また、請求項6記載の照明光学装置は、前記オプティカルインテグレータが石英で構成

50

され、前記照度減衰率調整手段が前記面光源サイズ可変手段による前記面光源の大きさの変更により、前記照明光学装置の前記照明瞳またはその近傍での前記照明光の光エネルギーが  $5 \text{ mJ} / \text{cm}^2 \cdot \text{pulse}$  以上となったときに、前記照明光の照度の減衰率を増大させることを特徴とする。

【0021】

この請求項6記載の照明光学装置によれば、面光源サイズ可変手段による照明瞳に形成される面光源の大きさの変更により、照明瞳またはその近傍での照明光の光エネルギーが  $5 \text{ mJ} / \text{cm}^2 \cdot \text{pulse}$  以上となったときに、照度減衰率調整手段により照明光の照度の減衰率を増大させる。即ち、照明瞳に形成される面光源における照明光の光エネルギーが  $5 \text{ mJ} / \text{cm}^2 \cdot \text{pulse}$  以上となることを防止することができ、照明瞳またはその近傍での照明光の光エネルギーを適切な値に維持することができる。従って、照明瞳や該照明瞳と共役な位置またはその近傍に配置される光学素子が石英により構成されている場合においても、照明瞳に形成される面光源における照明光の光エネルギーが高くなることにより光学素子に損傷が発生するのを防止することができ、光学素子の高寿命化を実現することができる。また、この照明光学装置を露光装置に搭載した場合においても、照明光学装置を構成する光学素子を頻繁に交換する必要がないため、露光装置の性能を維持することができ、露光装置のスループットを高く維持することができる。

10

【0022】

また、請求項7記載の露光装置は、感光性基板上にマスクのパターンを転写する露光装置において、前記マスクを照明するための請求項1乃至請求項6の何れか一項に記載の照明光学装置と、前記マスクのパターンの像を前記感光性基板上に形成するための投影光学系とを備えることを特徴とする。

20

【0023】

この請求項7記載の露光装置によれば、光学素子の照明光が通過する部分の損傷を防止することができ、光学素子の高寿命化を実現することができる照明光学装置を備えているため、照明光学装置を構成する光学素子を頻繁に交換する必要がなく、露光装置の性能を維持することができ、露光装置のスループットを高く維持することができる。

【0024】

また、請求項8記載の露光方法は、感光性基板上に所定のパターンを転写する露光方法において、請求項1乃至請求項6の何れか一項に記載の照明光学装置を用いて前記所定のパターンが形成されるマスクを照明する照明工程と、前記感光性基板上に前記所定のパターンを転写する転写工程とを含むことを特徴とする。

30

【0025】

この請求項8記載の露光方法によれば、光学素子の照明光が通過する部分の損傷を防止することができ、光学素子の高寿命化を実現することができる照明光学装置を用いてマスクの照明を行うため、照明光学装置を構成する光学素子を頻繁に交換する必要がなく、スループット良く、良好な露光を行うことができる。

【発明の効果】

【0026】

この発明の照明光学装置によれば、面光源サイズ可変手段により変更される照明瞳位置に形成される面光源の大きさが所定の大きさよりも小さくなった場合に、面光源サイズ可変手段による面光源の大きさの変更動作を停止し、開口絞りによる面光源の大きさ設定動作に切替えを行う切替え手段を備えている。または、面光源サイズ可変手段により変更される照明瞳に形成される面光源の大きさが所定の大きさよりも小さくなった場合に、照度減衰率調整手段により照明光の照度の減衰率を増大させる。

40

【0027】

即ち、照明瞳に形成される面光源における照明光の光エネルギーが所定の値を超える前に照明瞳に形成される面光源における照明光の光エネルギーを適切な値に変更することができる。従って、照明瞳や該照明瞳と共役な位置またはその近傍に配置される光学素子が石英により構成されている場合においても、照明瞳に形成される面光源における照明光の光エ

50

エネルギーが高くなることにより光学素子の照明光が通過する部分に損傷が発生するのを防止することができ、光学素子の高寿命化を実現することができる。また、この照明光学装置を露光装置に搭載した場合においても、照明光学装置を構成する光学素子を頻繁に交換する必要がないため、露光装置の性能を維持することができ、露光装置のスループットを高く維持することができる。

#### 【0028】

また、この発明の露光装置によれば、光学素子の照明光が通過する部分の損傷を防止することができ、光学素子の高寿命化を実現することができる照明光学装置を備えているため、照明光学装置を構成する光学素子を頻繁に交換する必要がなく、露光装置の性能を維持することができ、露光装置のスループットを高く維持することができる。

10

#### 【0029】

また、この発明の露光方法によれば、光学素子の照明光が通過する部分の損傷を防止することができ、光学素子の高寿命化を実現することができる照明光学装置を用いてマスクの照明を行うため、照明光学装置を構成する光学素子を頻繁に交換する必要がなく、スループット良く、良好な露光を行うことができる。

#### 【発明を実施するための最良の形態】

#### 【0030】

図面を参照して、この発明の第1の実施の形態にかかる露光装置について説明する。図1は、この実施の形態にかかる露光装置の概略構成を示す図である。なお、以下の説明においては、図1中に示すXYZ直交座標系を設定し、このXYZ直交座標系を参照しつつ各部材の位置関係について説明する。XYZ直交座標系は、X軸及びY軸がウエハWに対して平行となるように設定され、Z軸がウエハWに対して直交する方向に設定されている。また、この実施の形態にかかる照明光学装置は、輪帯照明を行うように構成されている。

20

#### 【0031】

この実施の形態にかかる露光装置は、図1に示すように、露光光（照明光）を供給するためのレーザ光源（光源部）1として、例えば波長が約193nmの光を供給するArFエキシマレーザ光源または波長が約248nmの光を供給するKrFエキシマレーザ光源を備えている。レーザ光源1からZ方向に沿って射出された略平行な光束は、X方向に沿って細長く延びた矩形状の断面を有し、一對のレンズ2a及び2bからなるビームエキスパンダ2に入射する。各レンズ2a及び2bは、図1のYZ平面内において負の屈折力及び正の屈折力をそれぞれ有する。したがって、ビームエキスパンダ2に入射した光束は、図1のYZ平面内において拡大され、所定の矩形状の断面を有する光束に整形される。

30

#### 【0032】

整形光学系としてのビームエキスパンダ2を介した平行な光束は、折り曲げミラー3により反射されY方向に偏向された後、光軸AXを中心として結晶光学軸が回転自在に、かつ光軸AXから挿脱可能に構成されている1/4波長板11に入射する。ここで、1/4波長板11は、楕円偏光の光が入射した場合において、入射する楕円偏光の特性に応じてその1/4波長板11の結晶光学軸を設定することにより、楕円偏光の入射光を直線偏光の光に変換する機能を有する。

40

#### 【0033】

即ち、レーザ光源1としてKrFエキシマレーザ光源やArFエキシマレーザ光源を用いる場合、レーザ光源1は略直線偏光の光を射出する。通常、レーザ光源1と1/4波長板11との間の光路中には裏面反射鏡としての複数の直角プリズム（図示せず）が配置されている。一般的に、裏面反射鏡としての直角プリズムに入射する直線偏光の光が直角プリズムの入射面に対してP偏光またはS偏光に一致していない場合、直角プリズムでの全反射により直線偏光から楕円偏光に変化する。従って、例えば直角プリズムを介することにより入射光が直線偏光から楕円偏光に変化した場合においても、1/4波長板11に入射する楕円偏光の特性に応じて1/4波長板11の結晶光学軸を設定することにより、入射光を楕円偏光から直線偏光に変化させることができる。

50



## 【0034】

1/4波長板11を通過した光束は、1/2波長板10及びデポライザ（非偏光化素子）20を通過する。図2は、1/2波長板10及びデポライザ20の概略構成を示す図である。図2に示すように、1/2波長板10は、光軸AXを中心として結晶光学軸が回転自在に構成されている。また、デポライザ20は、くさび形状の水晶プリズム20aと、この水晶プリズム20aと相補的な形状を有するくさび形状の石英プリズム20bにより構成されている。水晶プリズム20aと石英プリズム20bとは、一体的なプリズム組立体として、照明光路に対して挿脱自在に構成されている。

## 【0035】

1/2波長板10の結晶光学軸が入射する直線偏光の偏光面に対して0度または90度の角度をなすように設定された場合、1/2波長板10に入射した直線偏光の光は偏光面が変化することなくそのまま通過する。また、1/2波長板10の結晶光学軸が入射する直線偏光の偏光面に対して45度の角度をなすように設定された場合、1/2波長板10に入射した直線偏光の光は偏光面が90度だけ変化した直線偏光の光に変換される。更に、水晶プリズム20aの結晶光学軸が入射する直線偏光の偏光面に対して45度の角度をなすように設定された場合、水晶プリズム20aに入射した直線偏光の光は、非偏光状態の光に変換（非偏光化）される。

10

## 【0036】

この実施の形態においては、デポライザ20が照明光路中に位置決めされたときに水晶プリズム20aの結晶光学軸が入射する直線偏光の偏光面に対して45度の角度をなすように構成されている。ちなみに、水晶プリズム20aの結晶光学軸が入射する直線偏光の偏光面に対して0度または90度の角度をなすように設定された場合、水晶プリズム20aに入射した直線偏光の光は偏光面が変化することなくそのまま通過する。また、1/2波長板10の結晶光学軸が入射する直線偏光の偏光面に対して22.5度の角度をなすように設定された場合、1/2波長板10に入射した直線偏光の光は、偏光面が変化することなくそのまま通過する直線偏光成分と偏光面が90度だけ変化した直線偏光成分とを含む非偏光状態の光に変換される。

20

## 【0037】

この実施の形態においては、上述したように、直線偏光の光が1/2波長板10に入射する。デポライザ20を照明光路中に位置決めした場合、1/2波長板10の結晶光学軸が入射する直線偏光の偏光面に対して0度または90度の角度をなすように設定すると、1/2波長板10に入射した直線偏光の光は偏光面が変化することなく通過して水晶プリズム20aに入射する。水晶プリズム20aの結晶光学軸は入射する直線偏光の偏光面に対して45度の角度をなすように設定されているので、水晶プリズム20aに入射した直線偏光の光は非偏光状態の光に変換される。

30

## 【0038】

一方、1/2波長板10の結晶光学軸が入射する直線偏光の偏光面に対して45度の角度をなすように設定すると、1/2波長板10に入射した直線偏光の光は偏光面が90度だけ変化した直線偏光の光になって水晶プリズム20aに入射する。水晶プリズム20aの結晶光学軸は入射する直線偏光の偏光面に対しても45度の角度をなすように設定されているので、水晶プリズム20aに入射した直線偏光の光は非偏光状態の光に変換される。水晶プリズム20aを介して非偏光化された光は、光の進行方向を補償するためのコンペンセータとしての石英プリズム20bを通過する。

40

## 【0039】

これに対し、デポライザ20を照明光路から退避させた場合、1/2波長板10の結晶光学軸が入射する直線偏光の偏光面に対して0度または90度の角度をなすように設定すると、1/2波長板10に入射した直線偏光の光は偏光面が変化することなく通過する。一方、1/2波長板10の結晶光学軸が入射する直線偏光の偏光面に対して45度の角度をなすように設定すると、1/2波長板10に入射した直線偏光の光は偏光面が90度だけ変化した直線偏光の光になる。

50

## 【0040】

以上のように、この実施の形態では、デポライザ20を照明光路中に挿入して位置決めすることにより、非偏光状態の光に変換することができる。また、デポライザ20を照明光路から退避させ且つ1/2波長板10の結晶光学軸が入射する直線偏光の偏光面に対して0度または90度の角度をなすように設定することにより、その直線偏光状態が変化することなく光は進行する。さらに、デポライザ20を照明光路から退避させ且つ1/2波長板10の結晶光学軸が入射する直線偏光の偏光面に対して45度をなすように設定することにより、偏光面が90度変化した直線偏光状態の光に変換することができる。

## 【0041】

デポライザ20を通過した光束は、回折光学素子4aに入射する。一般に、回折光学素子(DOE)は、ガラス基板に露光光(照明光)の波長程度のピッチを有する段差を形成することによって構成され、入射ビームを所望の角度に回折する作用を有する。具体的には、回折光学素子4aは、矩形状の断面を有する平行光束が入射した場合に、そのファークフィールド(またはフラウンホーファ回折領域)に輪帯状の光強度分布を形成する機能を有する。したがって、回折光学素子4aを介した光束は、後述するアフォーカルレンズ85(ひいては照明光学装置)の照明瞳または該照明瞳の近傍に輪帯状の光強度分布、すなわち輪帯状の断面を有する光束を形成する。回折光学素子4aは、照明光路から退避可能に構成されている。

10

## 【0042】

回折光学素子4aを通過した光束は、アフォーカルレンズ(リレー光学系)85に入射する。アフォーカルレンズ85は、その前側焦点位置と回折光学素子4aの位置とがほぼ一致し且つその後側焦点位置と図中破線で示す所定面86の位置とがほぼ一致するように設定されたアフォーカル系(無焦点光学系)である。したがって、回折光学素子4aに入射した略平行な光束は、アフォーカルレンズ85の照明瞳面に輪帯状の光強度分布を形成した後、略平行な光束となってアフォーカルレンズ85から射出される。

20

## 【0043】

なお、アフォーカルレンズ85の前側レンズ群85aと後側レンズ群85bとの間の光路中において照明瞳またはその近傍には、光源側から順に、円錐アキシコン系87、第1シリンドリカルレンズ対88及び第2シリンドリカルレンズ対89が配置されている。1/2波長板10及びデポライザ20を介することにより、直線偏光状態または非偏光状態の光に変換されている光束は、アフォーカルレンズ85の前側レンズ群85aを通過し、円錐アキシコン系87に入射する。

30

## 【0044】

図3は、照明光学装置の照明瞳または該照明瞳の近傍に配置される円錐アキシコン系87の概略構成を示す図である。円錐アキシコン系87は、光源側から順に、光軸AX方向に対して凹円錐状の屈折面(凹状屈折面)を有する第1プリズム87a及び第1プリズム87aの凹円錐状の屈折面と互いに当接可能なように相補的に形成された凸円錐状の屈折面(凸状屈折面)を有する第2プリズム87bを備えている。第1プリズム87aは光源側に平面を向け且つマスクM側に凹円錐状の屈折面を向けて配置されており、第2プリズム87bは光軸AX側に凸円錐状の屈折面を向け且つマスクM側に平面をむけて配置されている。

40

## 【0045】

また、第1プリズム87a及び第2プリズム87bのうち少なくとも一方は光軸AXに沿って移動可能に構成されており、第1プリズム87aの凹円錐状の屈折面と第2プリズム87bの凸円錐状の屈折面との間隔が可変に構成されている。ここで、第1プリズム87aの凹円錐状の屈折面と第2プリズム87bの凸円錐状の屈折面とが互いに当接している状態では、円錐アキシコン系87は平行平板板として機能し、後述するマイクロレンズアレイ8を介して形成される輪帯状の二次光源に及ぼす影響はない。しかしながら、第1プリズム87aの凹円錐状の屈折面と第2プリズム87bの凸円錐状の屈折面とを離間させると、円錐アキシコン系87は、いわゆるビームエキスパンダとして機能する。したが

50

って、円錐アキシコン系 87 の間隔の変化に伴って、図 1 中破線で示す所定面 86 への入射光束の入射角度は変化する。

【0046】

図 4 は、輪帯照明において形成される二次光源に対する円錐アキシコン系 87 の作用を説明するための図である。円錐アキシコン系 87 の間隔が 0 であつ後述するズームレンズ 90 の焦点距離が最小値に設定された状態（以下、「標準状態」という）で形成された最も小さい輪帯状の二次光源 130a は、円錐アキシコン系 87 の間隔を 0 から所定の値まで拡大させることにより、その幅（外径と内径との差の  $1/2$ ：図中矢印で示す）が変化することなく、その外径および内径がともに拡大された輪帯状の二次光源 130b に変化する。即ち、円錐アキシコン系 87 の作用により、輪帯状の二次光源の幅が変化することなく、その輪帯比（内径／外径）および大きさ（外径）がともに変化する。

10

【0047】

図 5 は、アフォーカルレンズ 85 の前側レンズ群 85a と後側レンズ群 85b との間の光路中に配置された第 1 シリンドリカルレンズ対 88 および第 2 シリンドリカルレンズ対 89 の概略構成を示す図である。図 5 に示すように、第 1 シリンドリカルレンズ対 88 は、光源側から順に、たとえば YZ 平面内に負屈折力を有し且つ XY 平面内に無屈折力の第 1 シリンドリカル負レンズ 88a と、同じく YZ 平面内に正屈折力を有し且つ XY 平面内に無屈折力の第 1 シリンドリカル正レンズ 88b とにより構成されている。一方、第 2 シリンドリカルレンズ対 89 は、光源側から順に、たとえば XY 平面内に負屈折力を有し且つ YZ 平面内に無屈折力の第 2 シリンドリカル負レンズ 89a と、同じく XY 平面内に正屈折力を有し且つ YZ 平面内に無屈折力の第 2 シリンドリカル正レンズ 89b とにより構成されている。

20

【0048】

第 1 シリンドリカル負レンズ 88a と第 1 シリンドリカル正レンズ 88b とは、光軸 AX を中心として一体的に回転するように構成されている。同様に、第 2 シリンドリカル負レンズ 89a と第 2 シリンドリカル正レンズ 89b とは、光軸 AX を中心として一体的に回転するように構成されている。第 1 シリンドリカルレンズ対 88 は Z 方向にパワーを有するビームエキスパンダとして機能し、第 2 シリンドリカルレンズ対 89 は X 方向にパワーを有するビームエキスパンダとして機能する。また、この実施の形態においては、第 1 シリンドリカルレンズ対 88 及び第 2 シリンドリカルレンズ対 89 のパワーが同一となるように設定されている。従って、第 1 シリンドリカルレンズ対 88 及び第 2 シリンドリカルレンズ対 89 を通過した光束は、Z 方向及び X 方向に同一のパワーにより拡大作用を受ける。

30

【0049】

アフォーカルレンズ 85 を介した光束は、 $\sigma$  値可変用のズームレンズ（面光源サイズ可変手段）90 を介して、マイクロレンズアレイ（オブティカルインテグレータ）8 に入射する。所定面 86 の位置はズームレンズ 90 の前側焦点位置またはその近傍に配置され、マイクロレンズアレイ 8 の入射面はズームレンズ 90 の後側焦点面またはその近傍に配置されている。即ち、ズームレンズ 90 は、所定面 86 とマイクロレンズアレイ 8 の入射面とを実質的にフーリエ変換の関係に配置し、ひいてはアフォーカルレンズ 85 の照明瞳面とマイクロレンズアレイ 8 の入射面とを光学的に略共役に配置している。したがって、マイクロレンズアレイ 8 の入射面上には、アフォーカルレンズ 85 の照明瞳面と同様に、例えば光軸 AX を中心とした輪帯状の照野が形成される。この輪帯状の照野の全体形状は、ズームレンズ 90 の焦点距離に依存して相似的に変化する。即ち、マイクロレンズアレイ 8 によって照明瞳位置と共役な位置に形成される二次光源（面光源）の大きさは、レーザー光源 1 から射出される照明光の光エネルギーをほぼ一定に保ちながら、ズームレンズ 90 の焦点距離に依存して相似的に変更することができる。

40

【0050】

図 6 は、輪帯照明において形成される二次光源に対するズームレンズ 90 の作用を説明するための図である。標準状態で形成された輪帯状の二次光源 130a は、ズームレンズ

50

90の焦点距離を最小値から所定の値へ拡大させることにより、照明光の光エネルギーをほぼ一定に保ちながら、その全体形状が相似的に拡大された輪帯状の二次光源130cに変化する。即ち、ズームレンズ90の作用により、輪帯状の二次光源の輪帯比が変化することなく、その幅及び大きさ（外径）が共に変化する。

#### 【0051】

ズームレンズ90を介した光束は、マイクロレンズアレイ8に入射する。マイクロレンズアレイ8への入射光束の入射角度は、円錐アキシコン系87の間隔の変化に伴って、所定面86への入射光束の角度が変化するのと同様に変化する。

#### 【0052】

マイクロレンズアレイ8は、縦横にかつ稠密に配列された多数の正屈折力を有する石英により構成される微小レンズからなる光学素子である。マイクロレンズアレイ8を構成する各微小レンズは、マスクMにおいて形成すべき照野の形状（ひいてはウエハW上において形成すべき露光領域の形状）と相似な矩形上の断面を有する。マイクロレンズアレイ8に入射した光束は、多数の微小レンズにより二次元的に分割され、その後側焦点面（ひいては照明瞳）にはマイクロレンズアレイ8への入射光束によって形成される照野と略同じ光強度分布を有する二次光源、即ち光軸AXを中心とした輪帯状の実質的な面光源からなる二次光源が形成される。マイクロレンズアレイ8の後側焦点面に形成された輪帯状の二次光源からの光束は、マイクロレンズアレイ8の後側焦点面（射出面）またはその近傍に配置可能に設けられている開口絞り12を通過する。開口絞り12は、マイクロレンズアレイ8の後側焦点面に形成される二次光源（照明光学装置の照明瞳位置に形成される面光源）の大きさを所定の大きさに制限する例えば虹彩絞り等により構成されている。開口絞り12を介した光束は、ビームスプリッタ14、コンデンサレンズ9aを介して、マスクブラインドMBを重疊的に照明する。ビームスプリッタ14により反射された光束は、インテグレートセンサ15に入射する。インテグレートセンサ15による検出信号は、後述する制御部30に対して出力される。

#### 【0053】

照明視野絞りとしてのマスクブラインドMBには、マイクロレンズアレイ8を構成する各微小レンズの形状と焦点距離とに応じた矩形状の照野が形成される。マスクブラインドMBの矩形状の開口部（光透過部）を介した光束は、石英により構成される結像光学系9bの集光作用を受けた後、所定のパターンが形成されたマスク（被照射面）Mを重疊的に照明する。即ち、結像光学系9bは、マスクブラインドMBの矩形状開口部の像をマスクM上に形成する。マスクMのパターンを透過した光束は、投影光学系PLを介して、感光性基板であるウエハW上にマスクMのパターン像を形成する。こうして、投影光学系PLの光軸AXと直交する平面内においてウエハWを二次元的に駆動制御しながら一括露光またはスキャン露光を行うことにより、ウエハWの各露光領域にはマスクMのパターンが逐次露光される。

#### 【0054】

また、この実施の形態にかかる露光装置は制御部（切替え手段）30を備えており、制御部30には、順次露光する各種のマスクに関する情報などが記憶されている。また、制御部30には、ズームレンズ駆動系31及び開口絞り駆動系32が接続されている。ズームレンズ駆動系31は、制御部30からの制御信号に基づいてズームレンズ90の焦点距離を変化させる。また、開口絞り駆動系32は、制御部30からの制御信号に基づいて開口絞り12の開口部の大きさを変化させる。

#### 【0055】

即ち、制御部30に予め記憶されている各種のマスクに関する情報に基づいて、制御部30は、ズームレンズ駆動部31を介してズームレンズ90の焦点距離を連続可変させる。制御部30は、面光源サイズ可変手段であるズームレンズ90の焦点距離が変更されたときに、インテグレートセンサ15からの検出信号に基づいてマイクロレンズアレイ8の後側焦点面またはその近傍での照明光の光エネルギーを検出する。マイクロレンズアレイ8の後側焦点面またはその近傍での照明光の光エネルギーが $5\text{ mJ}/\text{cm}^2 \cdot \text{pulse}$ より

10

20

30

40

50

小さい場合には、制御部 30 は、ズームレンズ駆動部 31 を介してズームレンズ 90 による二次光源の大きさの変更動作を継続する。

【0056】

一方、マイクロレンズアレイ 8 の後側焦点面またはその近傍での照明光の光エネルギーが  $5 \text{ mJ} / \text{cm}^2 \cdot \text{pulse}$  以上となった場合には、ズームレンズ 90 による二次光源の大きさの変更動作を停止し、開口絞り 12 による二次光源の大きさ設定動作に切替えを行う。即ち、制御部 30 は、ズームレンズ駆動系 31 に対して制御信号を出力してズームレンズ 90 の焦点距離の変更を停止させる。また、制御部 30 は、開口絞り駆動部 32 に対して制御信号を出力して開口絞り 12 の開口部の大きさを変化させることによるマイクロレンズアレイ 8 の後側焦点面に形成される二次光源の大きさの設定動作を開始させる。

10

【0057】

この第 1 の実施の形態にかかる露光装置によれば、ズームレンズ 90 によるマイクロレンズアレイ 8 の後側焦点面（照明瞳と共役な位置）に形成される二次光源（面光源）の大きさの変更により、マイクロレンズアレイ 8 の後側焦点面またはその近傍での照明光の光エネルギーが  $5 \text{ mJ} / \text{cm}^2 \cdot \text{pulse}$  以上となったときに、ズームレンズ 90 による二次光源の大きさの変更動作を停止し、開口絞り 12 による二次光源の大きさ設定動作に切替えを行う。即ち、照明瞳と共役な位置に形成される面光源における照明光の光エネルギーが  $5 \text{ mJ} / \text{cm}^2 \cdot \text{pulse}$  以上となることを防止することができ、照明瞳と共役な位置またはその近傍での照明光の光エネルギーを適切な値に維持することができる。

【0058】

20

従って、照明瞳と共役な位置またはその近傍に配置されている照明光学装置が備える光学素子（例えば、マイクロレンズアレイ 8）が石英で構成されている場合においても、照明瞳と共役な位置での照明光の光エネルギーが高くなることにより光学素子の照明光が通過する部分に損傷が発生するのを防止することができる。同様に、照明瞳と共役な位置またはその近傍に配置されている投影光学系が備える光学素子が石英で構成されている場合においても、光学素子に損傷が発生するのを防止することができる。従って、マイクロレンズアレイ 8 等の光学素子の高寿命化を実現することができる。また、マイクロレンズアレイ 8 等の光学素子を頻繁に交換する必要がないため、露光装置の性能を維持することができる。露光装置のスループットを高く維持することができる。

【0059】

30

なお、この第 1 の実施の形態においては、マイクロレンズアレイの後側焦点面に形成される二次光源における照明光の光エネルギーが  $5 \text{ mJ} / \text{cm}^2 \cdot \text{pulse}$  以上となったときにズームレンズによる二次光源の大きさの変更動作を停止し、開口絞りによる二次光源の大きさ設定動作に切替えを行っているが、ズームレンズにより照明瞳の大きさを変化させ、 $\sigma$  値が例えば 0.20 以下となったとき、即ち照明瞳位置に形成される面光源の大きさが所定の大きさよりも小さくなった場合にズームレンズによる二次光源の大きさの変更動作を停止し、開口絞りによる二次光源の大きさ設定動作に切替えを行ってもよい。この場合には、 $\sigma$  値が 0.20 のときの照明光の光エネルギー密度は、 $\sigma$  値が 0.90 のときの照明光の光エネルギー密度と比較した場合、20.25 倍となるため、ズームレンズによる二次光源の大きさの変更動作を停止し、開口絞りによる二次光源の大きさ設定動作に切替

40

【0060】

また、この第 1 の実施の形態においては、照明光学装置が輪帯照明を行うように構成されているが、照明光学装置が多極照明（例えば、2 極照明や 4 極照明）を行うように構成してもよい。2 極照明を行う場合には、ズームレンズを作動させることにより 2 つの局所照明領域のうちの 1 つの  $\sigma$  値が例えば 0.15 以下となったときにズームレンズによる二次光源の大きさの変更動作を停止し、開口絞りによる二次光源の大きさ設定動作に切替えを行う。4 極照明を行う場合には、ズームレンズにより 4 つの局所照明領域のうちの 1 つの  $\sigma$  値が例えば 0.10 以下となったときにズームレンズによる二次光源の大きさの変更動作を停止し、開口絞りによる二次光源の大きさ設定動作に切替えを行う。

50

## 【0061】

次に、図面を参照して、この発明の第2の実施の形態について説明する。図7は、この第2の実施の形態にかかる露光装置の概略構成を示す図である。なお、この第2の実施の形態にかかる露光装置の説明においては、第1の実施の形態にかかる露光装置の構成と同一の構成の詳細な説明は省略し、第1の実施の形態にかかる露光装置と同一の構成については同一の符号を用いて説明を行う。

## 【0062】

図7に示すように、この第2の実施の形態にかかる露光装置は、レーザ光源（光源部）1とビームエキスパンダ2との間に照度減衰率調整手段としてのNDフィルタ13を備えている。NDフィルタ13は、例えば図8に示すように、レボルバ13a上に減衰率（1-透過率）の異なる少なくとも2つ（この実施の形態においては6つ）のNDフィルタ部13b、13c、13d、13e、13f、13gを配置し、そのレボルバ13aをオープンループ制御で回転することにより、入射するレーザ光源1から射出される照明光に対する減衰率を複数段階で粗く切り替えることができる。即ち、レーザ光源1とマイクロレンズアレイ8との光路中にNDフィルタ13のNDフィルタ部13b～13gを挿入退避させることにより、照明光の減衰率を切替えることができる。この実施の形態においては、NDフィルタ部13bの減衰率の大きさを最も小さく設定し、NDフィルタ部13c、13d、13e、13fと順にその減衰率の大きさを段階的に増大させるように設定し、NDフィルタ部13gの減衰率の大きさを最も大きく設定する。なお、レボルバ13aと同様のレボルバを2段配置し、2組のNDフィルタの組み合わせによってより細かく減衰率を調整できるようにしてもよい。

## 【0063】

また、制御部30には、ズームレンズ駆動系31及びNDフィルタ駆動系33が接続されている。ズームレンズ駆動系31は、制御部30からの制御信号に基づいてズームレンズ90の焦点距離を変化させる。また、NDフィルタ駆動系33は、制御部30からの制御信号に基づいてNDフィルタ13が備えるレボルバをオープンループ制御で回転させる。

## 【0064】

即ち、制御部30に予め記憶されている各種のマスクに関する情報に基づいて、制御部30は、ズームレンズ駆動部31を介してズームレンズ90の焦点距離を連続可変させる。制御部30は、面光源サイズ可変手段であるズームレンズ90の焦点距離が変更されたときに、インテグレートセンサ15からの検出信号に基づいてマイクロレンズアレイ8の後側焦点面またはその近傍での照明光の光エネルギーを検出する。マイクロレンズアレイ8の後側焦点面またはその近傍での照明光の光エネルギーが $5\text{ mJ}/\text{cm}^2 \cdot \text{pulse}$ より小さい場合には、制御部30は、ズームレンズ駆動部31を介してズームレンズ90による二次光源の大きさの変更動作を継続する。

## 【0065】

一方、マイクロレンズアレイ8の後側焦点面またはその近傍での照明光の光エネルギーが $5\text{ mJ}/\text{cm}^2 \cdot \text{pulse}$ 以上となった場合には、制御部30は、NDフィルタ駆動系33を介してNDフィルタ13が備えるレボルバ13aをオープンループ制御で回転させることにより、一段階大きい減衰率を有するNDフィルタ部が照明光学装置の照明光の光路中に位置するように設定する。例えば、NDフィルタ部13bが照明光学装置の照明光の光路中に位置している場合には、NDフィルタ部13bよりも大きい減衰率を有するNDフィルタ部13c～13gが照明光の光路中に位置するようにNDフィルタ13を回転させる。

## 【0066】

この第2の実施の形態にかかる露光装置によれば、ズームレンズ90によるマイクロレンズアレイ8の後側焦点面（照明瞳と共役な位置）に形成される二次光源（面光源）の大きさの変更により、マイクロレンズアレイ8の後側焦点面またはその近傍での照明光の光エネルギーが $5\text{ mJ}/\text{cm}^2 \cdot \text{pulse}$ 以上となったときに、NDフィルタ13により照

明光の照度の減衰率を増大させる。即ち、マイクロレンズアレイ 8 の後側焦点面に形成される二次光源における照明光の光エネルギーが  $5 \text{ mJ} / \text{cm}^2 \cdot \text{pulse}$  以上となることを防止することができ、マイクロレンズアレイ 8 の後側焦点面またはその近傍での照明光の光エネルギーを適切な値に維持することができる。従って、照明瞳と共役な位置またはその近傍に配置されている照明光学装置が備える光学素子（例えば、マイクロレンズアレイ 8）が石英で構成されている場合においても、マイクロレンズアレイ 8 の後側焦点面（照明瞳と共役な位置）に形成される二次光源（面光源）における照明光の光エネルギーが高くなることにより照明光が通過する部分の光学素子の損傷が発生するのを防止することができる。同様に、照明瞳と共役な位置またはその近傍に配置されている投影光学系が備える光学素子が石英で構成されている場合においても、光学素子の損傷が発生するのを防止することができる。従って、マイクロレンズアレイ 8 等の光学素子の高寿命化を実現することができる。また、マイクロレンズアレイ 8 等の光学素子を頻繁に交換する必要がないため、露光装置の性能を維持することができ、露光装置のスループットを高く維持することができる。

10

#### 【0067】

なお、この第 2 の実施の形態においては、ND フィルタとして、異なる減衰率を有する少なくとも 2 つ（この実施の形態においては 6 つ）の ND フィルタ部を有する ND フィルタを備えているが、照明光学装置の照明光の光路中に挿入退避可能な ND フィルタを備えるようにしてもよい。この場合には、ズームレンズ 90 による照明瞳に形成される面光源の大きさの変更により、照明瞳またはその近傍での照明光の光エネルギーが  $5 \text{ mJ} / \text{cm}^2 \cdot \text{pulse}$  以上となったときに、ND フィルタを照明光の光路中に挿入させることにより、照明光の減衰率を増大させる。

20

#### 【0068】

また、この第 2 の実施の形態においては、マイクロレンズアレイの後側焦点面に形成される二次光源における照明光の光エネルギーが  $5 \text{ mJ} / \text{cm}^2 \cdot \text{pulse}$  以上となったときに ND フィルタにより照明光の照度の減衰率を増大させているが、ズームレンズを作動させることにより  $\sigma$  値が例えば 0.20 以下となったときに ND フィルタにより照明光の照度の減衰率を増大させるように設定してもよい。この場合には、 $\sigma$  値が 0.20 のときの照明光の光エネルギー密度は、 $\sigma$  値が 0.90 のときの照明光の光エネルギー密度と比較した場合、20.25 倍となるため、ND フィルタにより照明光の照度の減衰率を増大させることによりその照明光の光エネルギー密度を減少させることができる。

30

#### 【0069】

また、この第 2 の実施の形態においては、照明光学装置が輪帯照明を行うように構成されているが、照明光学装置が多極照明（例えば、2 極照明や 4 極照明）を行うように構成してもよい。2 極照明を行う場合には、ズームレンズを作動させることにより 2 つの局所照明領域のうちの 1 つの  $\sigma$  値が例えば 0.15 以下となったときに ND フィルタにより照明光の照度の減衰率を増大させる。4 極照明を行う場合には、ズームレンズにより 4 つの局所照明領域のうちの 1 つの  $\sigma$  値が例えば 0.10 以下となったときに ND フィルタにより照明光の照度の減衰率を増大させる。

#### 【0070】

また、上述の第 1 及び第 2 の実施の形態においては、入射する直線偏光の光の偏光面に必要に応じて変化させるための位相部材としての  $1/2$  波長板 10 を光源側に配置し、入射する直線偏光の光を必要に応じて非偏光化するためのデポライザ 20 をマスク側に配置している。しかしながら、これに限定されることなく、デポライザ 20 を光源側に配置し且つ  $1/2$  波長板 10 をマスク側に配置しても同じ光学的な作用効果を得ることができる。

40

#### 【0071】

また、上述の第 1 及び第 2 の実施の形態においては、水晶プリズム 20a を介した光の進行方向を補償するためのコンベンセータとして石英プリズム 20b を用いている。しかしながら、これに限定されることなく、K r F エキシマレーザ光や A r F エキシマレーザ

50

光に対して耐久性の高い光学材料、たとえば水晶や蛍石などにより形成された楔形状のプリズムをコンペンセータとして用いていることもできる。

#### 【0072】

また、上述の第1及び第2の実施の形態においては、回折光学素子を用いているが、回折光学素子に代えてフライアイレンズを用いても良い。この場合には、円錐アキシコン系が配置されている位置またはその近傍に位置する照明光学装置の照明瞳位置において、フライアイレンズがフライアイレンズの入射側に備える多数のレンズ面の輪郭形状（例えば、六角形状や矩形状）に相似した形状の光強度分布が形成される。

#### 【0073】

上述の第1及び第2の実施の形態にかかる露光装置では、照明光学装置によってマスク（レチクル）Mを照明し（照明工程）、投影光学系PLを用いてマスクMに形成された転写用のパターンを感光性基板（ウエハ）Wに転写する（転写工程）ことにより、マイクロデバイス（半導体素子、撮像素子、液晶表示素子、薄膜磁気ヘッド等）を製造することができる。以下、第1または第2の実施の形態にかかる露光装置を用いて感光性基板としてのウエハW等に所定の回路パターンを形成することによって、マイクロデバイスとしての半導体デバイスを得る際の手法の一例につき図9のフローチャートを参照して説明する。

#### 【0074】

まず、図9のステップS301において、1ロットのウエハW上に金属膜が蒸着される。次のステップS302において、その1ロットのウエハW上の金属膜上にフォトレジストが塗布される。その後、ステップS303において、第1または第2の実施の形態にかかる露光装置を用いて、マスクM上のパターンの像がその投影光学系PLを介して、その1ロットのウエハW上の各ショット領域に順次露光転写される。その後、ステップS304において、その1ロットのウエハW上のフォトレジストの現像が行われた後、ステップS305において、その1ロットのウエハW上でレジストパターンをマスクMとしてエッチングを行うことによって、マスクM上のパターンに対応する回路パターンが、各ウエハW上の各ショット領域に形成される。

#### 【0075】

その後、更に上のレイヤの回路パターンの形成等を行うことによって、半導体素子等のデバイスが製造される。上述の半導体デバイス製造方法によれば、第1または第2の実施の形態にかかる照明光学装置を用いてマスクの照明を行っているため、光学素子の照明光が通過する部分の損傷を防止することができ、光学素子の高寿命化を実現することができる。従って、照明光学装置を構成する光学素子を頻繁に交換する必要がなく、スループット良く、良好な露光を行うことができる。なお、ステップS301～ステップS305では、ウエハW上に金属を蒸着し、その金属膜上にレジストを塗布、そして露光、現像、エッチングの各工程を行っているが、これらの工程に先立って、ウエハW上にシリコンの酸化膜を形成後、そのシリコンの酸化膜上にレジストを塗布、そして露光、現像、エッチング等の各工程を行っても良いことはいうまでもない。

#### 【0076】

また、第1及び第2の実施の形態にかかる露光装置では、プレート（ガラス基板）上に所定のパターン（回路パターン、電極パターン等）を形成することによって、マイクロデバイスとしての液晶表示素子を得ることもできる。以下、図10のフローチャートを参照して、このときの手法の一例につき説明する。図10において、パターン形成工程S401では、第1または第2の実施の形態にかかる露光装置を用いてマスクMのパターンを感光性基板（レジストが塗布されたガラス基板等）に転写露光する、所謂光リソグラフィ工程が実行される。この光リソグラフィ工程によって、感光性基板上には多数の電極等を含む所定パターンが形成される。その後、露光された基板は、現像工程、エッチング工程、レジスト剥離工程等の各工程を経ることによって、基板上に所定のパターンが形成され、次のカラーフィルタ形成工程S402へ移行する。

#### 【0077】

次に、カラーフィルタ形成工程S402では、R（Red）、G（Green）、B（Blue）に

10

20

30

40

50



対応した3つのドットの組がマトリックス状に多数配列されたり、またはR、G、Bの3本のストライプのフィルタの組を複数水平走査線方向に配列されたりしたカラーフィルタを形成する。そして、カラーフィルタ形成工程S402の後に、セル組み立て工程S403が実行される。セル組み立て工程S403では、パターン形成工程S401にて得られた所定パターンを有する基板、およびカラーフィルタ形成工程S402にて得られたカラーフィルタ等を用いて液晶パネル（液晶セル）を組み立てる。セル組み立て工程S403では、例えば、パターン形成工程S401にて得られた所定パターンを有する基板とカラーフィルタ形成工程S402にて得られたカラーフィルタとの間に液晶を注入して、液晶パネル（液晶セル）を製造する。

【0078】

その後、モジュール組み立て工程S404にて、組み立てられた液晶パネル（液晶セル）の表示動作を行わせる電気回路、バックライト等の各部品を取り付けて液晶表示素子として完成させる。上述の液晶表示素子の製造方法によれば、第1または第2の実施の形態にかかる照明光学装置を用いてマスクの照明を行っているため、光学素子の照明光が通過する部分の損傷を防止することができ、光学素子の高寿命化を実現することができる。従って、照明光学装置を構成する光学素子を頻繁に交換する必要がなく、スループット良く、良好な露光を行うことができる。

【図面の簡単な説明】

【0079】

【図1】第1の実施の形態にかかる露光装置の概略構成を示す図である。

【図2】第1の実施の形態にかかる照明光学装置が備える1/2波長板及びデポラライザの概略構成を示す図である。

【図3】第1の実施の形態にかかる照明光学装置が備える円錐アキシコン系の概略構成を示す図である。

【図4】第1の実施の形態にかかる輪帯照明において形成される二次光源に対する円錐アキシコン系の作用を説明するための図である。

【図5】第1の実施の形態にかかる照明光学装置が備える第1シリンドリカルレンズ対及び第2シリンドリカルレンズ対の概略構成を示す図である。

【図6】第1の実施の形態にかかる輪帯照明において形成される二次光源に対するズームレンズの作用を説明するための図である。

【図7】第2の実施の形態にかかる露光装置の概略構成を示す図である。

【図8】第2の実施の形態にかかるNDフィルタの構成を示す図である。

【図9】この発明の実施の形態にかかるマイクロデバイスとしての半導体デバイスを製造する方法を示すフローチャートである。

【図10】この発明の実施の形態にかかるマイクロデバイスとしての液晶表示素子を製造する方法を示すフローチャートである。

【符号の説明】

【0080】

1…レーザ光源、2…ビームエキスパンダ、3…折り曲げミラー、4a…回折光学素子、8…マイクロレンズアレイ、9a…コンデンサレンズ、9b…結像光学系、10…1/2波長板、11…1/4波長板、12…開口絞り、13…NDフィルタ、14…ビームスプリッタ、15…インテグレートセンサ、20…デポラライザ、30…制御部、31…ズームレンズ駆動系、32…開口絞り駆動系、33…NDフィルタ駆動系、85…アフォーカルレンズ、87…円錐アキシコン系、87a…第1プリズム、87b…第2プリズム、88…第1シリンドリカルレンズ対、89…第2シリンドリカルレンズ対、90…ズームレンズ、MB…マスクブラインド、M…マスク、PL…投影光学系、W…ウエハ。

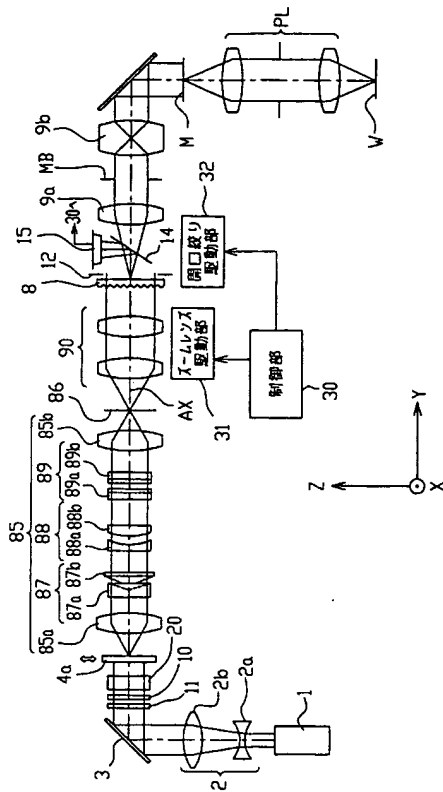
10

20

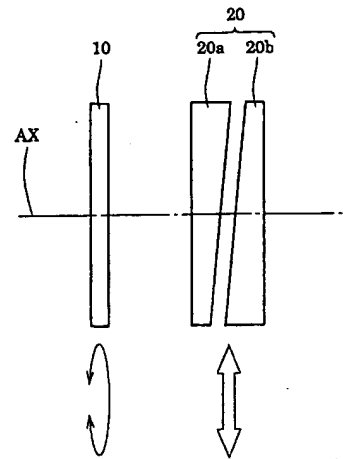
30

40

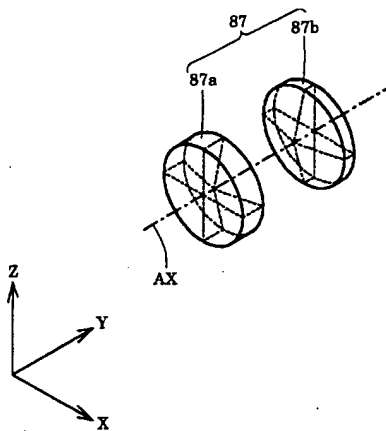
【図 1】



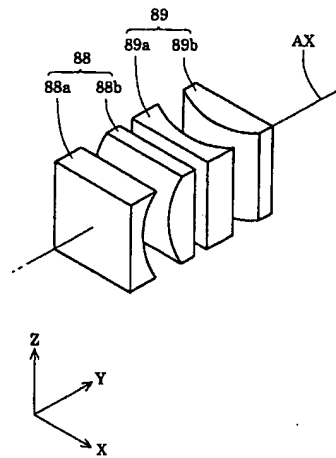
【図 2】



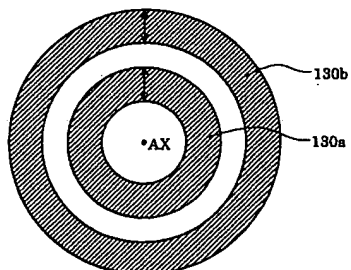
【図 3】



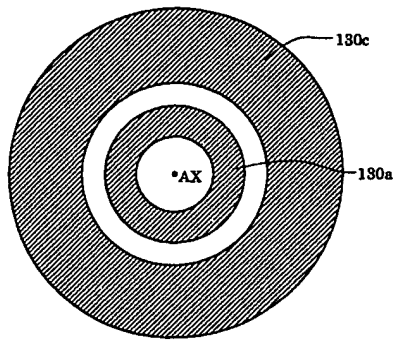
【図 5】



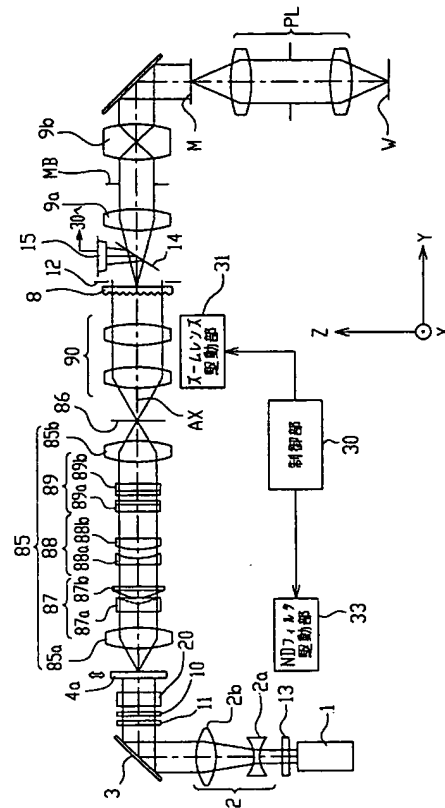
【図 4】



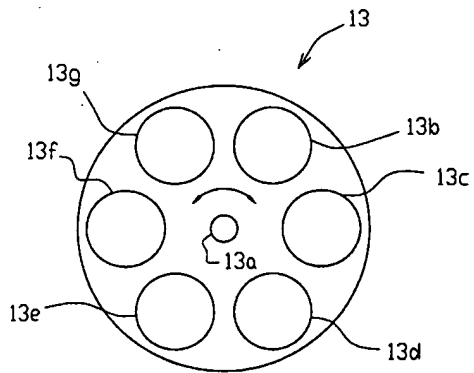
【図 6】



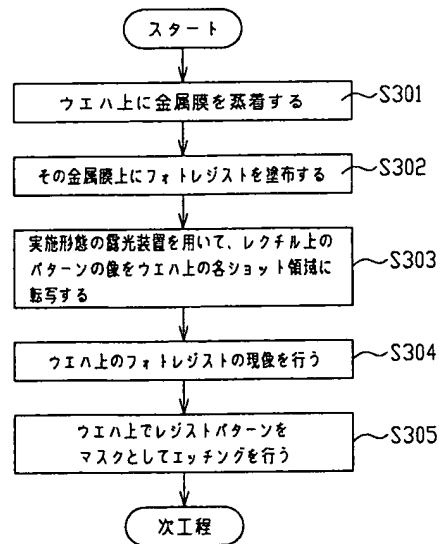
【図 7】



【図 8】



【図 9】



【図 10】

